



KANDIDAATINTYÖ

Antti Pauanne

**ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA**



TIETO- JA SÄHKÖTEKNIIKAN TIEDEKUNTA
ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

KANDIDAATINTYÖ

LIVE-STRIIMAUS 5G-TESTIVERKOSSA AR-LASEJA JA MULTIMEDIASERVERIÄ KÄYTTÄEN

Tekijä

Antti Pauanne

Valvoja

Ville Niemelä

Kesäkuu 2019

Pauanne A. (2019) Live-striimaus 5G-testiverkossa AR-laseja ja multim mediaserveriä käyttäen. Oulun yliopisto, tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta, elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 31s.

TIIVISTELMÄ

Tässä kandidaatintyössä kuvataan, kuinka AR-laseista saadaan siirrettyä videota ja ääntä sisältävää striimiä langattomasti usealle vastaanottajalle samanaikaisesti. Lisäksi kuvataan ja suunnitellaan tähän striimin lähettämiseen tarvittava järjestelmä tärkeimpine laitteineen ja ohjelmistoineen.

Suunniteltuun järjestelmään tarvittavat ohjelmat ja sovellukset konfiguroidaan. Järjestelmän testaamiseen vaaditut testausjärjestelyt suunnitellaan ja rakennetaan. Järjestelmä testataan käyttäen suunniteltuja testausjärjestelyjä, jotta varmistutaan tavoitteenasettelun mukaisten vaatimusten toteutumisesta.

Avainsanat: AR-lasit, striimi, RTMP, HLS

Pauanne A. (2019) Live streaming in 5G test network using AR glasses and multimedia server. University of Oulu, Degree Programme in Electronics and Communications Engineering. Bachelor's Thesis, 31p.

ABSTRACT

This bachelors work describes how to wirelessly send audio and video live stream from AR glasses to multiple receivers on the same time. Needed system to send the live stream is designed and it is described with main equipment.

Equipment and software that are needed in the implementation of the designed system are configured. Testing arrangements are designed and built. System is tested according to planned test arrangements to verify that it works according to requirements.

Avainsanat: AR glasses, stream, RTMP, HLS

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
ALKULAUSE	6
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET.....	7
1 JOHDANTO	8
2 DEMO KONFERENSSISSA	9
2.1 Demo-ympäristö	9
2.1.1 Demojärjestelyt yleisesti.....	9
2.1.2 Demojärjestelyt AR-striimauksen osalta	10
2.2 Testijärjestelyn laitteet	11
2.3 Demon asettamat vaatimukset AR-striimaukselle	13
3 TESTAUSYMPÄRISTÖ	14
3.1 Testausympäristön rakentaminen	14
3.1.1 AR-lasit.....	14
3.1.2 Sovellusten asentaminen AR-laseihin	15
3.1.3 Striimaussovellukset.....	16
3.1.4 Multim mediaserveri.....	16
3.1.5 Testausjärjestelyt	18
4 TESTAUS.....	21
4.1 Multim mediaserveri	21
4.2 Sovellusten testaaminen	22
5 TULOKSET JA POHDINTA	25
5.1 Tulokset.....	25
5.2 Pohdinta.....	26
6 YHTEENVETO.....	27
7 LÄHDELUETTELO	28
8 LIITELUETTELO	29

ALKULAUSE

Tämä työ on tehty Oulun yliopiston tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnassa osana tekniikan kandidaatin tutkintoa.

Haluan kiittää kandidaatintyöni ohjaajaa Ville Niemelää mielenkiintoisen kandidaatintyönaiheen tarjoamisesta ja ohjaamisesta työn edetessä. Haluan kiittää myös perhettäni ja erityisesti vaimoani Railaa kannustamisesta ja opiskelujeni tukemisesta.

Iissä 11.6.2019

Antti Pauanne

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

AR	Augmented Reality, lisätty todellisuus
4G	neljännen sukupolven matkapuhelinverkko
5G	viidennen sukupolven matkapuhelinverkko
QR	Quick Response, kaksiulotteinen kuviokoodi
CWC	Centre for Wireless Communications, Oulun yliopiston tutkimuslaboratorio
6G	kuudennen sukupolven matkapuhelinverkko
IoT	Internet of Things, esineiden internet
WLAN	Wireless LAN, langaton lähiverkko
LAN	Local Area Network, lähiverkko, langallinen tietoliikenneverkko
HLS	HTTP Live Streaming, tietoliikenneprotokolla multimedialle
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla
UE	User Equipment, käyttäjän päätelaite
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
IPad	Applen valmistama tablettitietokone
WiFi	Wireless Fidelity, tavaramerkki WLAN-verkolle
USB	Universal Serial Bus, sarjavyöläarkkitehtuuri
PC	Personal Computer, tietokone
GSR	Galvanic Skin Response, galvaaninen ihovaste
PPG	Photoplethysmogram, fotopletysmografia
NGINX	Engine X, multimediaserveri
OBS	Open Broadcaster Software, striimausohjelmisto
FullHD	1920*1080 pikselin näyttötarkkuus
4K	Ultra HD, 3840*2160 pikselin näyttötarkkuus
VGA	Video Graphics Array, 640*480 pikselin näyttötarkkuus
CPU	Central Processing Unit, prosessori
GB	Giga Byte, gigatavu
RAM	Random Access Memory, hajasaantimuisti, luku- ja kirjoitusmuisti
nHD	640*360 pikselin näyttötarkkuus
mAh	milliampere hour, milliampeeritunti
BT	Bluetooth, langaton tietoliikenneyhteys
EDR	Enhanced Data Rate, parannettu tiedonsiirtokyky Bluetoothille
VLC	VideoLAN Client, VideoLAN-projektin kehittämä mediasoitin
RTMP	Real-Time Messaging Protocol, Macromedian kehittämä striimausprotokolla
IETF	Internet Engineering Task Force, avoin kansainvälinen internetyhteisö
HP	Hewlett Packard, tietokone- ja tietoliikenneyhtiö
ZIP	ZIP file, pakattu datatiedostomuoto
IP	Internet Protocol address, internetprotokollan mukainen osoite
UI	User interface, käyttöliittymä

1 JOHDANTO

Tämä työ aloitettiin marraskuussa 2018. Työn alkuperäinen nimi oli 5G (viidennen sukupolven matkapuhelinverkko) sensoridatan siirto ja sen esittäminen AR-laseissa (Augmented Reality), englanniksi ”Transferring 5G sensor data and presenting it in AR glasses”. Työn aiheena oli siirtää 5G-testiverkkoon liitettyjen sensorien dataa Vuzix M300 AR-laseihin ja esittää siirretty data käyttäjälle lasien näytöllä. Kulloinkin tarvittavan tiedon siirtoon oli tarkoitus käyttää sijaintitietoa tai esimerkiksi QR-koodeista (Quick Response) luettavaa tietoa. 5G-testiverkko on viidennen sukupolven mobiiliverkkoteknologian testiympäristö, jota hallinnoi Oulun yliopiston tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnan CWC-tutkimusyksikkö (Centre for Wireless Communications).

Tammikuun puolivälissä 2019 Oulun yliopiston tieto ja sähkötekniikan tiedekunnan CWC-tutkimusyksikkö 5G-testiverkkotutkimusympäristössä [1], jonne tämä kandidaatintyö on tehty, ilmeni tarve 5G:tä hyödyntävän demon luomiseen Levillä huhtikuussa 2019 tapahtuvaan 6G (kuudennen sukupolven matkapuhelinverkko) Wireless Summit -tapahtumaan. Tapahtumassa haluttiin esittää ”5G future hospital use case demo”. Koska AR-laseja haluttiin käyttää osana demoa, määriteltiin tämän kandidaatintyön aihe uudelleen. Uudelleenmääritellyn työn aiheeksi tuli ”Live-striimaus 5G-testiverkossa AR-laseja ja multimediaserveriä käyttäen”.

Tässä kandidaatintyössä suunnitettiin, rakennettiin ja testattiin tapa välittää live-striimiä AR-laseista multimediaserverille. Multimediaserverillä vastaanotettuun striimiin tehtiin protokollamuutos, jotta striimi voitiin edelleen lähettää Levin demon vaatimusten mukaisesti. Demon vaatimat muut kuin AR-laseihin tai multimediaserveriin liittyvät osat, toteutettiin muiden demon valmisteluun osallistuvien toimesta.

2 DEMO KONFERENSSISSA

Tämän kandidaatintyön tavoitteet määräytyivät 6G Wireless Summitiin [2] toteutetun demon mukaan. Tässä kappaleessa käsitellään Future hospital use case -demoa yleisellä tasolla, kuvataan, kuinka tämä työ nivoutuu osaksi demo-ympäristöä ja kerrotaan demon asettamat vaatimukset työlle.

2.1 Demo-ympäristö

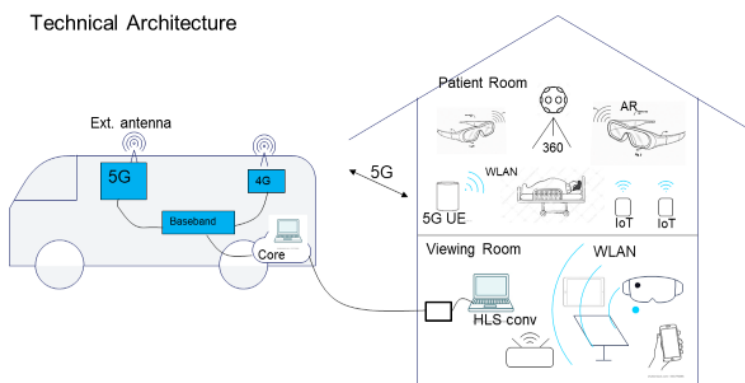
Levin 6G Wireless Summitiin tehtiin demo lääketieteen käyttötapauksesta. Demossa mallinnetaan tilannetta, jossa lääkintähenkilökunta suorittaa toimenpidettä, kuten leikkaus tai ensiapu, erillisessä leikkaussalissa tai toimenpidehuoneessa. Lääkintähenkilökunnalla on päässä AR-lasit, joilla kuvataan käyttäjien näkymä. Lisäksi huoneessa on 360 asteen videokuvaa välittävä kamera. Sekä AR-lasien näkymät, että 360 asteen kameran näkymä välitetään 5G-testiverkon kautta katseluhuoneeseen. Katseluhuoneessa esimerkiksi konsultoiva lääkäri tai lääketieteen opiskelijat voivat seurata toimenpiteitä reaaliajassa. Demoon osallistuvat henkilöt olivat katseluhuoneen henkilökunnan rooleissa.

AR-laseissa todelliseen ympäristöön, joka nähdään lasien läpi reaaliajassa, lisätään tietokoneella tuotettua tietoa, kuten grafiikkaa, videota, kuvaa, ääntä, tekstiä tai jotain muuta informaatiota. Tästä johtuen laseja kutsutaankin AR-laseiksi eli lisätyn todellisuuden laseiksi.

360 asteen videokameralla saadaan tuotettua kuvauspaikan ympäriltä 360 asteen panoraamakuva. Kuvaa voidaan tarkastella joko panoraamamuodossa tai esimerkiksi VR-laseilla (Virtual Reality) niin, että lasit näyttävät katsojalle kuvaa kuten hän olisi itse tarkastelemassa ympäristöä kameran sijoituspaikasta käsin. Tällöin VR-lasit näyttävät katsojalle kuvan hänen valitsemastaan katselusuunnasta. Kun lasien katselusuunta muuttuu, myös näytettävä kuva muuttuu vastaamaan uutta katselusuuntaa.

2.1.1 Demojärjestelyt yleisesti

Demo koostui kolmesta pääosasta: potilashuoneesta, 5G-testiautosta ja katseluhuoneesta. Korkean tason kuvaus järjestelyistä löytyy kuvasta 1 (saatu henkilökohtaisesti kuvan tekijältä Olli Liinamaalta).



Kuva 1: 6G Wireless Summit -demon järjestelyt

Potilashuoneessa oli seuraavat laitteet:

- pöytä, jolla lääketieteellisiä operaatiota kuvaavat toimet suoritettiin ”potilaalle”
- 360 asteen kamera
- AR-lasit henkilökunnalla
- 5G WLAN -reititin (Wireless LAN)
- Iot-sensoreita (Internet of Things)

5G-verkon testiauton sisältö:

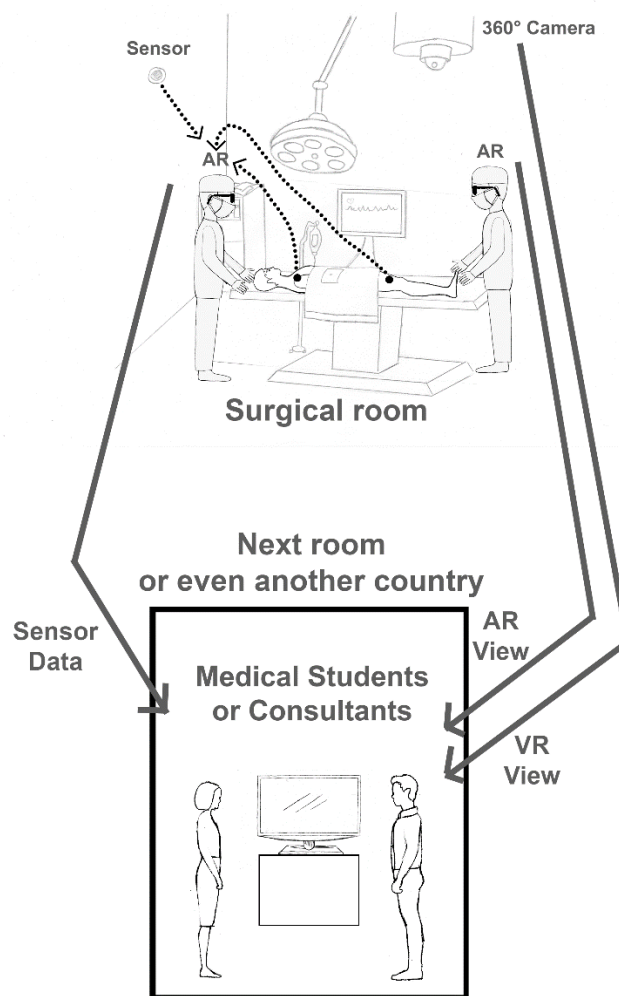
- 5G-testiverkon runko
- yhteys internetiin
- 4G-toiminnallisuuden (neljännen sukupolven matkapuhelinverkko) moduulit ja antennit
- 5G-toiminnallisuuden moduulit ja antennit

Katseluhuoneesta löytyivät seuraavat laitteet:

- multimediaserveri
- VR-lasit 360 asteen -näkökuvan katseluun
- näyttö AR-lasien näkökuvan katseluun
- Apple iPad Live-sync -applikaation käyttämiseen

2.1.2 Demojärjestelyt AR-striiimausten osalta

Demojärjestelyt AR-lasien ja VR-livestriimausten osalta on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Demojärjestelyt AR-lasien Live-striimin osalta

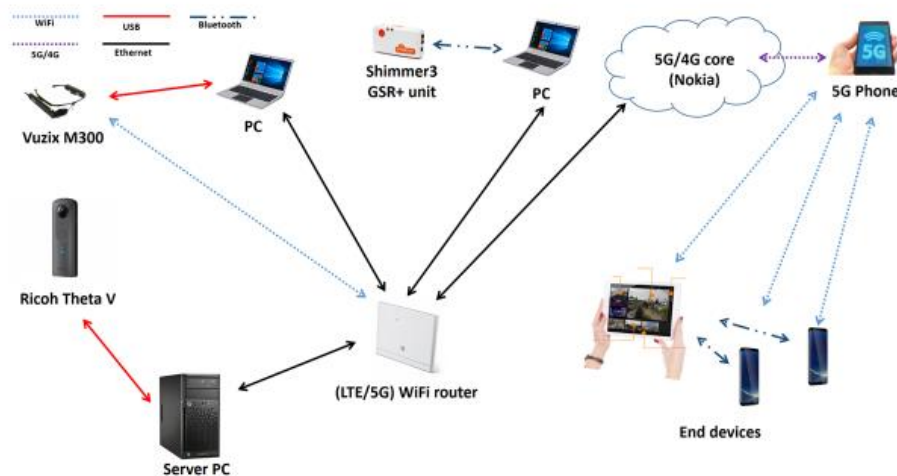
Potilashuoneessa oleva henkilökunta pitää päässään AR-laseja. Kaikkien AR-lasien näkymä välitetään langattomasti laseista 5G-verkon kautta katseluhuoneeseen, jossa haluttu AR-lasien näkymä siirretään näytölle. 360 asteen kameran striimi siirretään myös langattomasti katseluhuoneeseen katsottavaksi VR-laseilla.

Potilashuoneessa olevien sensorien data siirretään sekä potilashuoneen henkilökunnan AR-laseihin että katseluhuoneessa oleville henkilöille katseltavaksi. Sensorit mittaavat esimerkiksi huoneen lämpötilaa, potilaan sykettä tai muuta relevanttia dataa. Sensorien lähettämä tieto on samanaikaisesti nähtävissä sekä potilashuoneen henkilökunnan AR-laseissa että katseluhuoneen näytöllä joko osana katsottavaa AR-näkymää tai erikseen.

2.2 Testijärjestelyn laitteet

Kuvan 1 mukainen järjestelmä vaatii lukuisia laitteita, joiden on toimittava saumattomasti yhteen. Koska useat laitteista ovat vielä kehityksessä ja niitä ei ole aiemmin välttämättä lainkaan käytetty yhdessä, on systeemin integrointi toimintakuntoon suurimpia haasteita tämän kaltaisissa demoissa. Kuva 1 esittää alkuperäistä yleisen tason kuvausta demojärjestelmästä. Kuva 3 esittää varsinaista järjestelmää, joka Levin demoon päädyttiin rakentamaan (kuva saatu sen tekijältä Harri Hämäläinen).

Actual setup used in Levi 6G summit



Kuva 3: Levin demossa käytetty lopullinen järjestelmä

Järjestelmässä käytettiin seuraavia laitteita tai järjestelmiä [2]:

AR-lasit:

- Lähettävät käyttäjän näkymän langattomasti tai USB-kaapelin kautta
- Vastaanottavat IoT sensordataa (LTE/5G) WiFi (Wireless Fidelity) reitittimeltä näytettäväksi käyttäjälle lasien näytöruudulla
- Käytettiin Vuzix M300 -mallisia AR-laseja

PC (Personal Computer)

- Mahdollisuus kytkeä AR-lasit USB-kaapelilla (Universal Serial Bus) ja striimata käyttäjän näkymä server-PC:lle asennetulle NGINX-multimediaserverille tätä kautta, jos langaton yhteys ei ole käytettävissä

Server PC

- välittää Ricoh Theta V -kameran 360 asteen kuvan OBS (Open Broadcaster Software) striimausohjelmalla NGINX-multimediaserverille
- NGINX-multimediaserver toimii tällä tietokoneella

Ricoh Theta V

- 360 asteen kamera
- 4k/FullHD videostriimi
- kytketty USB:n kautta Server PC:n

(LTE/5G) WiFi router

- Liittää kytketyt laitteet LAN-verkon (Local Area Network) kautta LTE/5G verkkoon
- Langalliset ja langattomat yhteydet

Shimmer3 GSR+ unit

- Mittaa/tuottaa ja lähettää edelleen sensoridataa
- Sisäiset sensorit: kiihtyvyyssmittari, gyroskooppi
- Ulkoiset sensorit: GSR (Galvanic Skin Response) galvaaninen ihovaste, PPG (Photoplethysmogram) fotoplethysmografia

5G/4G core (Nokia)

- Nokian 5G-testiverkko
- (LTE/5G) WiFi reititin kytketty LAN-liitännällä testiverkkoon
- Yhdistetty 3.5GHz taajuudella tomivaan 5G-puhelimeen

5G Phone

- Yhteydessä 5G-verkkoon
- Tarjoaa WiFi-hotspot -yhteyden käyttäjien päätelaitteille

End devices

- Käyttäjien päätelaitteet WiFi-yhteydessä 5G-puhelimeen
- Mm. Apple iPad jossa LiveSync-aplikaatio 360 asteen ja AR-striimien katseluun

2.3 Demon asettamat vaatimukset AR-striimaukselle

Tämä kandidaatintyö tehtiin osana edellisissä kappaleissa kuvattua demoa. Tehtävänä oli toteuttaa lääkintähenkilökunnan näkymän striimaaminen AR-lasien kautta. Lisäksi tehtävänä oli toteuttaa multim mediaserveritoiminnallisuus demoan.

Jotta lääkintähenkilökunnan näkymä saatiin siirrettyä riittävällä tarkkuudella, oli AR-lasien kyettävä vähintään VGA-tarkkuuden (Video Graphics Array) videoon 24 kuvaa sekunnissa. Tavoitetarkkuus oli FullHD. AR lasien oli myös kyettävä siirtämään striimiä langattomasti WLAN-verkon kautta. Myös langallinen yhteys USB-kaapeli käyttäen piti olla mahdollinen. Laseihin täytyi voida asentaa eri striimausaplikaatioita.

Multim mediaserverin oli kyettävä vastaanottamaan useita striimejä tarvittaessa eri protokollilla samanaikaisesti. Sen oli kyettävä myös lähettämään kutakin näistä erillisistä striimeista useille eri vastaanottajille samanaikaisesti.

Demossa käytettiin LiveSync aplikaatiota IPadissa käsittelemään saman aikaan sekä Ricoh Theta V:n lähettämää 360 asteen kuvaa että AR-lasien lähettämää videostriimiä. LiveSync pystyy käsittelemään ainoastaan HLS-muotoista (HTTP (Hypertext Transfer Protocol) Live Streaming) striimiä ja täten AR-laseilta lähetettävä striimi oli oltava joko HLS-muodossa tai se oli muutettava HLS-muotoon, jos alkuperäinen striimi oli lähetetty toista protokollaa käyttäen.

AR lasien virrankulutus oli pidettävä matalana, jotta lasien akku kestäisi mahdollisimman pitkään eivätkä lasit pääsisi kuumenemaan aiheuttaen niiden pitäjälle ongelmia. Virrankulutukselle, kuten muillekaan vaatimuksille, ei HLS-vaatimusta lukuun ottamatta ollut annettu tarkkoja tavoitearvoja.

3 TESTAUSYMPÄRISTÖ

3.1 Testausympäristön rakentaminen

Työn ensimmäisenä tehtävänä oli suunnitella tarvittava toiminnallisuus annettujen tavoitteiden pohjalta. Työ oli rajattu niin, että siihen kuului demon lääkintähenkilökunnan AR-lasien striimin välittäminen langattomasti katseluhuoneen IPadissä LiveSync-aplikaatiolle HLS-muodossa. Koska striimi välitettiin WLAN-reitittimen kautta 5G-testiverkkoon, voitiin työ rajata niin, että striimin välittäminen WLAN-reitittimelle asti riitti todentamaan AR-lasien vaatimusten mukaisen toiminnan. 5G-testiverkon sisällä tapahtuva tiedonsiirto ei kuulunut tähän kandidaatintyöhön vaan sen toiminnallisuuden varmisti Nokian ja CWC-tutkimusyksikön henkilökunta.

Lisäksi tähän kandidaatintyöhön kuului tuottaa Levin demon vaatima vaatima multim mediaserveritoiminnallisuus.

Koska demon valmistelun aikataulu oli hyvin tiukka, päädyttiin ratkaisuun, että tarvittavia ohjelmistoja ei tehdä osana tätä työtä vaan ratkaisu on löydettävä käyttämällä jo olemassa olevia laitteistoja ja ohjelmistoja. Lisäksi todettiin, että ohjelmistojen tekemisen vaatima työmäärä on niin suuri, että niitä ei voida lähteä tekemään osana kandidaatintyötä.

3.1.1 AR-lasit

CWC-tutkimusyksikössä oli jo kahdet Vuzix M300 AR-lasit. Koska ne oli todettu toimiviksi ja niitä käyttäen oli jo tehty aiempaa lisättyyn todellisuuteen liittyvää tutkimusta, päätettiin tässäkin työssä käyttää niitä. Lisäksi, koska Vuzix M300 käyttää Android käyttöjärjestelmää, sille löytyy valmiiksi useita striimaus-aplikaatioita. Tämän oletettiin mahdollistavan demon vaatiman nopean aikataulun ja myös helpottavan testaamista.

Vuzix M300 on esitetty kuvassa 4 [3].



Kuva 4: Vuzix M300 AR-lasit

Vuzix M300 AR-lasien tärkeimmät tekniset tiedot:

- Android 6.0 käyttöjärjestelmä
- Dual Core Intel Atom CPU (Central Processing Unit)
- 2 GB (Giga Byte) RAM-muistia (Random Access Memory)
- 64 GB sisäistä Flash-muistia
- nHD 16:9 näyttö
- ääniohjaus
- kosketuslevyohjaus
- gyroskooppi
- kiihtyvyysmittari
- kompassi
- 160 mAh (milliampere hour) sisäinen akku mahdollistaa ulkoisen akun vaihdon
- 860 mAh ulkoinen akku
- tukee ulkoisia USB-akkuja
- toiminta-aika 2-12 tuntia riippuen ulkoisen akun koosta ja käytetystä sovelluksesta
- kaiutin
- vastamelumikrofoni
- 10 megapikselin kamera
- videokuvaukset 1080p tarkkuuteen asti
- optinen kuvanvakain
- salama ja kuvausvalo
- microUSB 2.0 HS -liitin
- WiFi b/g/n/c dual-B 2.4/5GHz langaton yhteys
- BT (Bluetooth) 4.1/4.2+EDR (Enhanced Data Rate) langaton yhteys

3.1.2 Sovellusten asentaminen AR-laseihin

AR-lasit tukevat ohjelmien asentamista yhtiön omasta Vuzix App Store -ohjelmistokaupasta. Lasit eivät tue lainkaan Google Play -ohjelmistokauppaa, josta käytännöllisesti katsoen kaikki Android-sovellukset löytyvät.

Demon vaatimus oli lähettää lääkintähenkilökunnan näkymä striiminä laseista. Laseissa ei kuitenkaan ole valmiiksi asennettuna ohjelmistoa, jolla striimiä voidaan lähettää. Valmiiksi asennettuna on ainoastaan kameran kuvaus- ja videointiohjelmisto, jolla voidaan ottaa valokuvia ja nauhoittaa videota. Näin ollen laseihin täytyi asentaa erillinen sovellus striimin lähettämiseen. Koska Google Play -kaupasta löytyvien striimaussovellusten asentaminen ei ollut mahdollista Play-ohjelmistokauppasovelluksen puuttumisen johdosta, sovellusten asentamiseen oli löydettävä jokin toinen tapa.

Sovellusten asentamiseen käytettiin Wondershare MobileGo ohjelmistoa. MobileGo-ohjelma asennettiin erilliseen Windows 7 käyttöjärjestelmällä varustettuun kannettavaan tietokoneeseen.

MobileGo ohjelmistolla Android-käyttöjärjestelmällä varustettuun matkapuhelimeen asennettu sovellus voidaan kopioida tietokoneelle ja siirtää tämä kopioitu sovellus toiseen Android-käyttöjärjestelmällä varustettuun laitteeseen. Tässä tapauksessa AR-laseihin.

Koska sovellusten kopioiminen matkapuhelimesta AR-laseihin on hidas ja työläs prosessi, päädyttiin striimaussovellukset testaamaan ensin matkapuhelimella. Vasta kun tavoitteet täyttyvä laseihin mahdollisesti sovelias sovellus löydettiin, se kopioitiin laseihin lopullisesti testattavaksi.

3.1.3 Striimaussovellukset

Työssä tarvittavaa striimaussovellusta etsittäessä testattiin useita eri sovelluksia. Striimaussovellukset testattiin Huawei Honor 8 Lite matkapuhelimella ennen kuin soveliaimmat niistä siirrettiin Vuzix M300 AR-laseihin lopullisesti testattavaksi.

Matkapuhelimella testattiin mm. seuraavat sovellukset:

- VVG StreamLand
- VLC (VideoLAN Client)
- BroadcastMe
- Larix Broadcaster
- ACE Live Streaming
- RTMP Camera

Matkapuhelintestauksessa useista sovelluksista löytyi puutteita, joiden vuoksi niitä ei voitu käyttää tässä työssä. Yleisimmin sovelluksista puuttui käyttäjän mahdollisuus itse määritellä multimediaserveri, jolle striimi lähetetään. Usein valittavissa oli ainoastaan ennalta määrättyjä servereitä. Pääsääntöisesti nämä olivat kaupallisten toimijoiden kuten Switchin palvelu tai sovelluksen valmistajan oma serveri.

Kaikista sovelluksista puuttui mahdollisuus lähettää striimiä vaatimusten mukaisesti HLS-protokollalla. Lähetysohjelmaksi valikoitui RTMP (RealTime Messaging Protocol), jota voidaan vastaanottaa erillisellä multimediaserverillä ja muuntaa sillä striimi vaatimusten mukaiseen HLS-muotoon.

AR-laseilla testattavaksi valikoituivat BroadcastMe ja RTMP Camera -sovellukset. Sovellusten testaamisesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.2.

3.1.4 Multimediaserveri

Kun striimaussovelluksia matkapuhelimella testattaessa oli käynyt selväksi, että AR-laseista ei suoraan saada lähetettyä HLS-muotoista striimiä, päädyttiin etsimään työn tavoitteet täyttävää multimediaserveriä, jolle AR-lasit voisivat lähettää RTMP-muotoista striimiä muunnettavaksi HLS-muotoon. Erittäin hyvä lista servereistä, joita voitiin mahdollisesti käyttää, löytyy lähteestä [4] . Lista HLS-servereistä esitetään kuvassa 5 [4].

Product	Technology	As Of Version	Editor	Free	Notes
ANEVIA Genova Live	Bundled software for transcoding to H.264 & HEVC, and packaging to HLS, MPEG-DASH, MS Smooth Streaming		Anevia	No	
AvProxy	Light software for live streaming Input and output streams : HTTP(S), HLS(S)/AES-128, UDP, RTP, MPTS demux	2.19		Yes	Proprietary but free for use
bitcodin		SaaS	bitmovin	No	[40]
VLC		1.2		Yes	
Video Cloud		SaaS	Brightcove	No	[41]
IIS Media Services		4.0	Microsoft	No	
Antik Media Streamer	Ingest Module (UDP/HTTP Transport Stream, Backup Stream with auto-switching, stream status monitoring and logging), Stream replication UDP/HTTP, HLS streaming, Video archive with snapshots, Server-side Timeshift, Timezone Shifting with multi-timezones, Stream Encryption using AES and key-rotation (with Antik Key Server)	3.0	Antik technology	No	
Adobe Media Server	Live and VOD streaming as origin and edge server	5.0	Adobe	No	
EvoStream Media Server	Cross-platform including embedded systems such as encoders, IP cameras, DVRs, and more. Supports: Adobe Flash RTMP, RTMPS, LiveFLV, full transcoder for creating lower bitrate streams, HTTP Live Streaming (HLS) for streaming to iPhones, iPads and Androids, HTTP Dynamic Streaming (HDS) for Adobe Air, Microsoft Smooth Streaming (MSS) for Microsoft devices, RTSP with RTP or MPEG-TS, MPEG-TS (unicast/multicast), compatible Live Encoding, strong security for your content (Verimatrix DRM, HLS AES encryption, Stream Aliasing, Watermarking), built-in clustering mechanism and more.	1.6.5	EvoStream	No	
MythTV		0.25	MythTV	Yes	
MACNETIX VOD-Server		3.0	MACNETIX	No	
Anevia NEA Live Servers	Transcapsulation: from one input, several outputs (HLS, MS Smooth Streaming, ADS Flash, MPEG DASH)		Anevia	No	
Packet Ship OverView-Origin Server	Capture from IPTV multicast and chunking to HLS for multi-bandwidth live streams, with AES encryption	2.1	Packet Ship	No	
nangu.TV Streamers	on-the-fly adaptation: content is stored once enabling several outputs (HLS, MS Smooth Streaming, ADS Flash, MPEG DASH)		nangu.TV	No	
TVersity Media Server		1.9	TVersity	No	Pro Edition only
Helix Universal Server	Live + VOD HLS with Verimatrix DRM integration, ABR, Multi-Resolution, AES encryption	15.0+	RealNetworks	No	High performance HLS (12,000+ concurrent devices)
Wowza Streaming Engine	Live and VOD streaming as origin and edge server with DVR, DRM Integration and Transcoding for adaptive streaming	2.0+	Wowza Media Systems	No	
Unified Streaming Platform	Muxes media content from one unified source to multiple outputs (Smooth Streaming, HDS, HLS and MPEG DASH)		Unified Streaming	No	
VODODO Live Server	Outputs HTTP Live Streaming with Adaptive bitrate streaming (up to 6 simultaneous qualities). Video codecs : AVC H.264 / HEVC H.265 Audio codecs : MP3 / AAC Transport layers : HTTP / FTP / Amazon AWS S3 / Microsoft Azure Web Storage / writing to disk (NetBios / Samba) Hostings : internal HTTP Web server and/or external Web servers (ex: Apache HTTP server, Microsoft IIS, Nginx, etc.)	1.0	Vodobox	Yes	Supports input live streams from DVB-T devices, satellite receivers (Dreambox), IP streams (RTSP, RTMP, MMS, HTTP), Microsoft DirectShow drivers (video capture cards, live production software, camera). Encoder is compliant with Intel Quick Sync Video and Nvidia NVENC hardware acceleration.
Flixwagon Platform Video Server			Flixwagon	No	
StreamCoder Live Encoder	Realtime video encoder (inputs : DVB/IP stream or video signal). Supports multi-bitrates and multi-languages		Ektacom	No	
Apache HTTP Server			Apache Software Foundation	Yes	
Unreal Media Server		9.5	Unreal Streaming Technologies	No	Latency of live streams can be as low as 2.5 seconds over the Internet
Nimble Streamer	RTMP / RTSP / Icecast / MPEG-TS to ABR HLS. MP4 / MP3 to VOD HLS	1.0.0-x	WMSPanel	No	
Nginx-rtmp-module	Free module for nginx server with support of HLS live streaming. Compliant with iOS and Android.	0.9.x	Roman Arutyunyan	Yes	
Nginx Plus	VOD HLS as origin		NGINX, Inc.	No	
Flussonic Media Server	Multi-platform support for HTTP, RTSP, RTMP, DASH, Time Shifting, DVR Functions with Unlimited Rewind Capabilities HLS streaming specific to iOS platform support.	3.0+	Flussonic, LLC.	No	Supporting a magnitude of features with full HTTP support.
VBrick Distributed Media Engine ("DME")		2.0	VBrick Systems, Inc.	No	Live and stored HLS. Live can be transmuxed from several input mux including RTP, RTMP, and MPEG-TS using H.264 encoding
Telebreeze Coder / Media Server	Input streams / interfaces: UDP, TCP, RTP, HLS, HTTP, RTMP (MPEG-TS) Output Streams: HLS, HTTP, UDP Preprocessing: Resize, Deinterlace, Frame Rate Conversion, Audio Resampling, Logo Rendering		Telebreeze	No	
LEADTOOLS Media Streaming Server	Converts files on the fly to Adobe HDS, Apple HLS, MPEG-DASH, Microsoft Smooth Streaming, RTSP.	19.0	LEAD Technologies	No	
MC-ROUTE	Multifunctional software for live stream routing and protocol conversion	4.4	Teracue	No	Supported protocols: TS over UDP, RTP, TCP, HLS, HTTP, RTSP/RTMP
Direkt router	Live hardware decoder with SDI, NDI out and transcoding	4.1	Intinor	No	Supported protocols in: TS over UDP, RTP, TCP, HLS, HTTP, RTMP out: UDP, RTP, TCP, RTMP

Kuva 5: Lista HLS-servereistä

AR-laseista lähetettävän striimin lähetysprotokolla RTMP on alun perin Macromedian kehittämä tiedonsiirtoprotokolla tiedon, äänen ja videon siirtämiseen internetissä [5]. Macromedian omistaa nyt Adobe Inc., joten myös RTMP protokolla on Adoben omistuksessa.

Multimediaserveri lähettää striimin HLS-muodossa. HLS on Apple-yhtiön kehittämä http-pohjainen tietoliikenneprotokolla multimedian siirtoon. Tarkat tiedot HLS:stä löytää protokollan julkaisijoiden dokumentista RC 8216, joka löytyy IETF:n (Internet Engineering Task Force) verkkosivuilta [6].

Yllä olevaa listaa apuna käyttäen tutkittiin eri http-striimausserverien soveltuvuutta tähän työhön. Serverin tuli olla:

- ilmainen ja toteutettu avoimella lähdekoodilla
- tuli kyetä vastaanottamaan useita eri striimejä samanaikaisesti
- tuettava RTMP-protokollaa vastaanotossa
- tuli kyetä lähettämään useita eri striimejä samanaikaisesti
- tuettava HLS-protokollaa lähetyksessä

Ilmaisia avoimen lähdekoodin ohjelmistoja olivat:

- AvProxy
- VLC
- MythTV
- VODOBOX Live Server
- Apache http Server
- Nginx-rtmp-module

Ylläolevista RTMP-protokollaa tukivat:

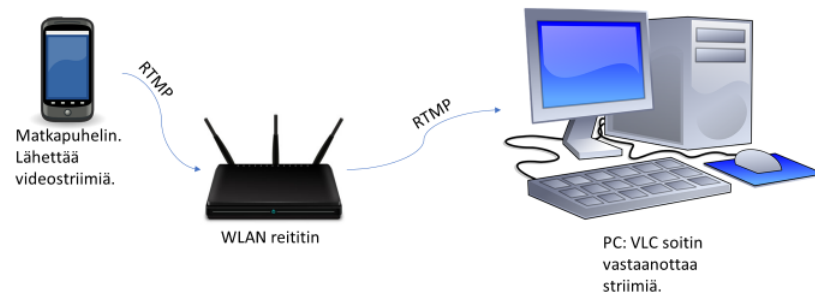
- VLC
- Vodobox Live Server
- Nginx-rtmp-module

Näistä kolmesta ensin testattua VLC:tä ei saatu lainkaan toimivan striimin konvertoinnissa. RTMP-muotoisen striimin vastaanotto toimi, mutta uudelleenlähetyt ei toiminut lainkaan. Seuraavaksi siirryttiin testaamaan Nginx (EngineX) multimediaserveria, joka saatiinkin toimimaan. Multimediaserveriksi valittiin täten Nginx. Tarkemmin Nginx:n testaamisesta ja konfiguroinnista luvussa 4.1.

3.1.5 Testausjärjestelyt

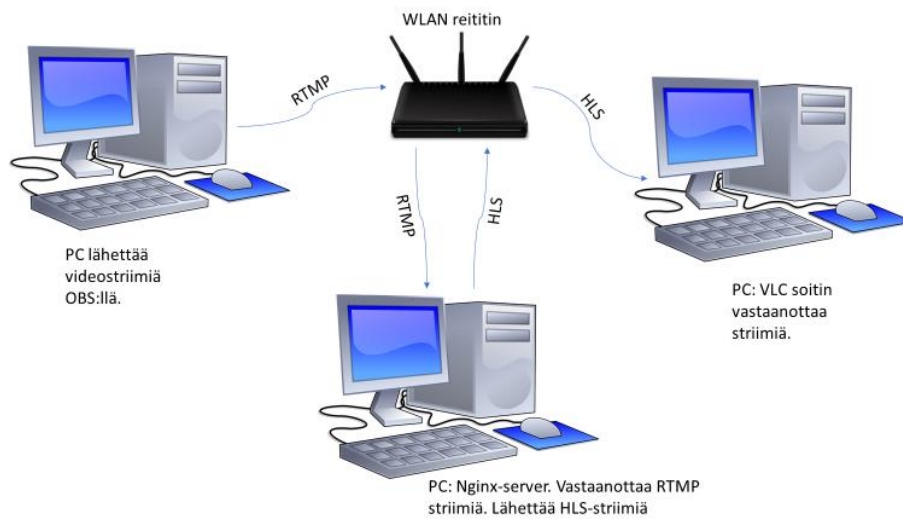
Testauksessa käytettiin kolmea eri vaihetta omine järjestelyineen. Ensimmäisessä vaiheessa testattiin striimaussovelluksia matkapuhelimella lähettämällä striimiä matkapuhelimella kotiverkossa olevan tietokoneen mediasoitinelle. Toisessa vaiheessa testattiin mediaserveriä ja lähetettiin striimiä kotiverkossa tietokoneelta toiselle Nginx-mediaserverin kautta. Kolmannessa vaiheessa lähetettiin striimiä AR-laseista Nginx-multimediaserverin kautta usealle vastaanottavalle tietokoneelle kotiverkossa.

Kuva ensimmäisestä testausjärjestelystä on alla kuvassa 6.



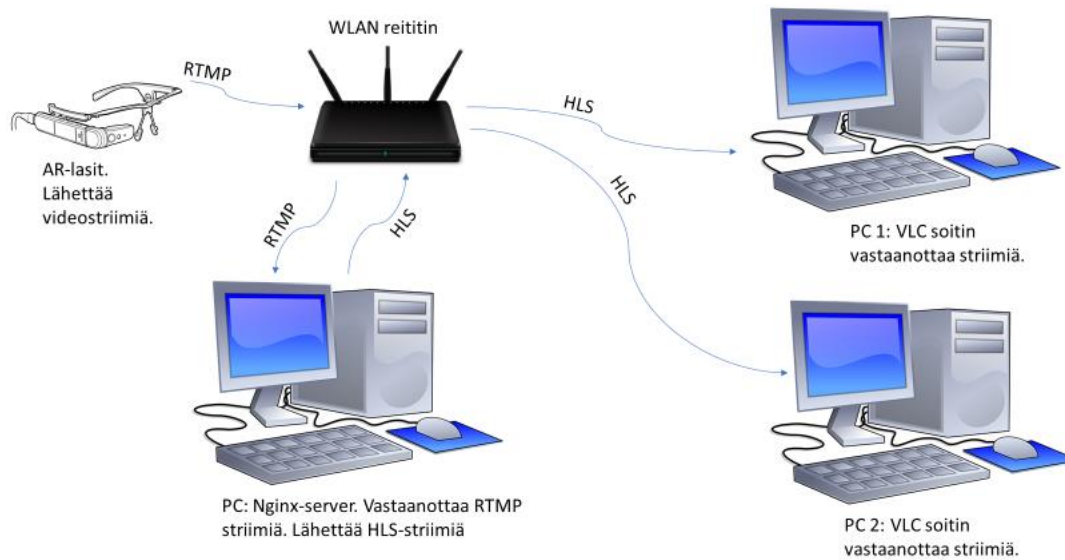
Kuva 6: Testausjärjestely 1

Toinen testausjärjestely kuvassa 7.



Kuva 7: Testausjärjestely 2

Kolmas testausjärjestely on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Testausjärjestely 3

Kun testausjärjestelyllä 1 oli löydetty matkapuhelimessa toimiva striimaussovellus, joka pystyi lähettämään RTMP-striimiä käyttäjän määrittelemään verkko-osoitteeseen, siirryttiin testausjärjestelyyn 2. Tarkoitus oli saada Nginx-multimediaserveri toimimaan tavoitteiden mukaisesti eli vastaanottamaan RTMP-muotoista striimiä, muuttamaan se HLS-muotoon ja edelleen lähettämään se usealle vastaanottajalle samaan aikaan.

4 TESTAUS

Testaus suoritettiin kappaleessa 3.1.5 esitettyjen testausjärjestelyjen mukaisesti.

4.1 Multimediaserveri

Nginx oli tämän työn tekijälle ennestään tuntematon ohjelmisto. Ensimmäinen tehtävä oli ladata Nginx ohjelmisto ja asentaa se Windows-tietokoneelle. Koska kyseessä on avoimenlähdekoodin ohjelmisto, ei Windowsille sopivaa asennusohjelmalla varustettua pakettia löytynyt. Nginx ohjelmisto eri versioineen löytyy seuraavasta verkko-osoitteesta [7]. On huomattava, että kaikissa Nginx:n versioissa ei ole tukea RTMP-protokollalle. Tuki on versiossa 1.7.11.3 Gryphon. Tämän kyseisen version, kuten muutkin Nginx:n versiot, voi ladata verkko-osoitteesta [8].

Kun Nginx:n pakattu Gryphon-versio oli ladattu tietokoneelle, se purettiin suoraan C-levyn juurihakemistoon. Nginx ei vaadi asentamista vaan on purkamisen jälkeen suoraan toimintavalmis, mutta se on kuitenkin konfiguroitava omien tarpeiden mukaiseksi.

Nginx:n konfigurointitiedosto `nginx.conf` oli hakemistossa `C:\nginx\conf`. Sopiva pohja, josta muokata omien tarpeiden mukainen konfigurointitiedosto, löytyy täältä [9].

Nginx käyttää oletuksena striimaukseen portteja 1935 ja 8080. Koska joissakin lähiverkoissa reititin saattaa palomuurillaan estää kyseisten porttien käytön, on ne joko avattava tietoliikenteelle tai otettava käyttöön jokin muu portti. Testaamiseen käytetyssä verkossa nginx asetettiin käyttämään striimin vastaanottoporttina numeroa 2727 ja lähetysporttina oli numero 8080.

Lisäksi sen tietokoneen IP-osoite (Internet Protocol) johon nginx on asennettu, on asetettava konfigurointitiedostoon. Tässä tapauksessa osoite oli 192.168.0.105.

Käytetty konfiguraatitiedosto löytyy liitteestä 1.

Multimediaserveriä testattiin testausjärjestely 2:n mukaisesti niin, että tavoitteena oli lähettää PC:llä RTMP-striimiä lähiverkon kautta nginx-multimediaserverille. Nginx muuntaa vastaanottamansa striimin HLS muotoon ja lähettää sen HLS-striimiä vastaanottavalle PC:lle. Järjestelyyn tarvittiin siis kolme eri tietokonetta, jotka olivat yhteydessä toisiinsa lähiverkon kautta.

Järjestelyn rakentaminen eteni seuraavasti:

- Ensiksi striimiä lähettävä tietokone kytkettiin lähiverkkoon ja sille asennettiin OBS-striimausohjelmisto.
- Seuraavaksi serverinä toimiva tietokone kytkettiin lähiverkkoon ja sille asennettiin Nginx.
- Striimiä vastaanottava tietokone kytkettiin lähiverkkoon ja sille asennettiin VLC-multimediaohjelmisto.
- Nginx konfiguroitiin verkon mukaisesti asettamalla IP-osoitteet ja porttiosoitteet.
- OBS konfiguroitiin lähettämään striimiä nginx:lle asettamalla oikea IP-osoite, johon striimi lähetetään
- Striimiä vastaanottava VLC-ohjelmalle määriteltiin Nginx:n IP-osoite, josta striimata videota

Tämän jälkeen kukin ohjelma käynnistettiin. Striimaus eteni näin:

- PC 1 lähettää RTMP-muotoista striimiä OBS-striimausohjelmistolla lähiverkkoon osoitteeseen `rtmp://192.168.0.105:1935/live`

- striimi reititetään osoitteeseen 192.168.0.105 PC:lle 2, jolle nginx on asennettu
- nginx vastaanottaa RTMP-striimin ja muuttaa sen HLS-muotoon.
- nginx kuuntelee porttia 8080
- PC:llä 3 aloitetaan VLC-ohjelmistolla striimaamaan HLS-muotoista striimiä osoitteesta <http://192.168.0.105:8080/live/test>

Lopuksi todettiin, että järjestely toimi ja lähetetty video näkyi VLC:llä.

4.2 Sovellusten testaaminen

Kuten kappaleessa 3.1.3 todettiin, AR-laseilla testattavaksi valikoituivat BroadcastMe ja RTMP Camera -sovellukset. Ensimmäiseksi testattiin BroadcastMe-sovellusta testausjärjestelyn 1 mukaisesti.

BroadcastMe-sovellus saatiin matkapuhelinympäristössä toimimaan halutulla tavalla eli lähettämään RTMP-striimiä WLAN-verkon kautta multimediaserverille. Kun sovellus siirrettiin AR-laseihin testattavaksi, lasien käyttöliittymä aiheutti ongelmia. BroadcastMe sovelluksen käynnistyessä ensimmäisellä sivulla on painonappeja ja ”Start streaming”-teksti, jota täytyisi voida painaa, jotta sivulta pääsee eteenpäin. ”Start streaming”-teksti ei kuitenkaan ole painonappi vaan teksti, jota täytyy kosketusnäytössä, jolle sovellus on suunniteltu, painaa. Vuzix M300 laseissa ei ole kosketusnäyttöä, vaan kosketuslevyohjaus, jossa ohjaus tapahtuu kosketuslevyä pyyhkäisemällä. Kuvassa 9 on esitetty lasien kosketuslevy [3].



Lasien käyttöliittymässä ei kosketuslevyä käytettäessä ole esimerkiksi näkyvää kursoria, vaan kosketuslevyä pyyhkäisemällä ohjataan ”näkökenttää” aktivointikohtaa näytöllä. Painonappi esimerkiksi muuttaa väriään, kun aktivointikohta on sen kohdalla. Tällaista painonappia voidaan ”painaa” tuplanapauttamalla lasien kosketuslevyä. Näin ei kuitenkaan voi toimia, jos aktivoitava kohta onkin tekstiä, kuten oli kyse BroadcastMe-sovelluksen kohdalla.

Ratkaisuksi sovelluksen tekijältä Streamaxialta pyydettiin sovellukseen muutosta, jossa teksti ”Start streaming” muutetaan samanlaiseksi painonapiksi kuin muutkin samalla sivulla olevat toiminnot.

Kun pyyntö oli käsitellyssä Streamaxialla, etsittiin muita tapoja ratkaista ongelma. Selvisi, että Vuzix M300 AR-laseihin saa liitettyä myös bluetooth-hiiren. Tällainen hiiri hankittiin

(HP Bluetooth Mouse Z5000 langaton hiiri), jotta työ etenee mahdollisimman nopeasti ja demon aikataulussa pysytään.

Kun hiiri kytkettiin lasihin, käyttöliittymään saatiin näkyvä kursori ja ”Start streaming” tekstiä päästiin painamaan. Kun tekstiä painettiin ja sovellus pääsi etenemään, kaatui se välittömästi ilman virheilmoitusta. Tämän jälkeen lasien käyttöjärjestelmä päivitettiin ja sovellus asennettiin uudelleen. Sovellus kuitenkin kaatui jälleen ilman virheilmoitusta. BroadcastMe:n käytöstä päätettiin luopua ja siirryttiin testaamaan RTMP Camera -sovellusta.

Myös RTMP Camera testattiin aluksi testausjärjestely 1:n mukaisesti lähettämällä RTMP-striimiä WLAN-reitittimen kotiverkossa olevalle PC:lle, jossa se vastaanotettiin VLC mediasoittimella. Tämä toiminto saatiin aikaiseksi moitteetta ja siirryttiin testausjärjestely 3:n mukaisesti testaamaan sovellusta AR-laseilla.

Asetukset RTMP Camera -sovelluksessa:

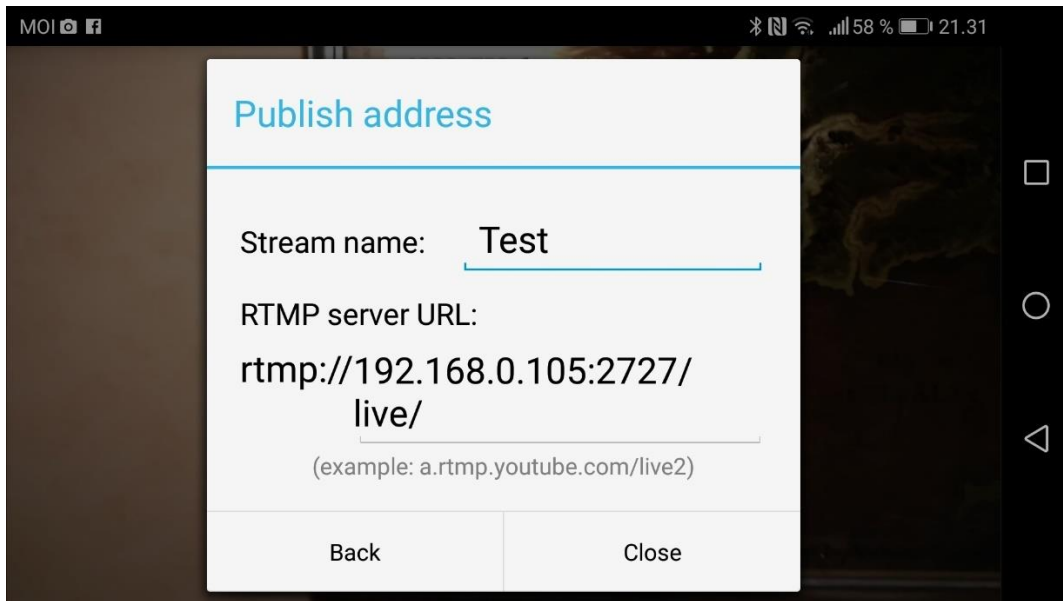
- Video/Video orientation: landscape
- Video/Resolution: 1280*720 (16:9)
- Video/Frames per Second: 24
- Video/Aspect ratio: All
- Video/Quality: Medium
- Video/Encoder: OMX.IMG.TOPAZ.VIDEO.Encoder
- Video/Capture method: GLSurface (fast)
- Audio/Enable microphone: ON
- Audio/Stereo: off Audio/Sampling rate: 22050
- Publish address/Stream name: Test
- Publish address/RTMP server URL: rtmp://192.168.0.105:2727/live/

Kuvassa 9 RTMP Camera sovelluksen käyttöliittymä ennen striimausta (matkapuhelin):



Kuva 9: RTMP Camera:n näyttö ennen striimin aloittamista

Kuvassa 10 esitetään yllä kerrotut Publish Address -asetukset (matkapuhelin):



Kuva 10: Publish Address -asetukset

Kuvien 9 ja 10 kuvaruutukaappaukset on otettu testauksessa käytetyllä matkapuhelimella, koska Vuzix M300 ei tue normaaleja Android-käyttöjärjestelmän kuvaruutukaappauksen näppäinkomentoja.

Nginx ohjelmisto oli konfiguroitu liitteessä 1 esitetyn konfiguraatiodokumentin mukaisesti vastaanottamaan RTMP striimiä portista 2727, muuntamaan striimi HLS muotoon ja lähettämään se portista 8080.

HLS-striimin vastaanottamiseen käytettyyn VLC-ohjelmiston asetettiin HLS-striimin osoitteeksi `http://192.168.0.105:8080/live/test/index.m3u8`

Laitteet käynnistettiin ja asetukset määriteltiin yllämainituilla tavoilla kaikkiin laitteisiin/ohjelmistoihin. Striimi saatiin lähetettyä AR-laseilla WLAN-reitittimen kautta Nginx-mediaserverille. Nginx mediaserveri onnistuneesti muutti RTMP-striimin HLS muotoon ja lähetti sen samassa kotiverkossa olevalle tietokoneelle, jossa se vastaanotettiin ja toistettiin onnistuneesti VLC-mediasoittimella.

Lähiverkkoon liitettiin toinen HLS-striimiä vastaanottava tietokone ja se konfiguroitiin samoin kuin ensimmäinenkin. Myös tällä tietokoneella onnistuttiin vastaanottamaan HLS-striimiä joko yksin tai samanaikaisesti ensimmäisen vastaanottavan tietokoneen kanssa.

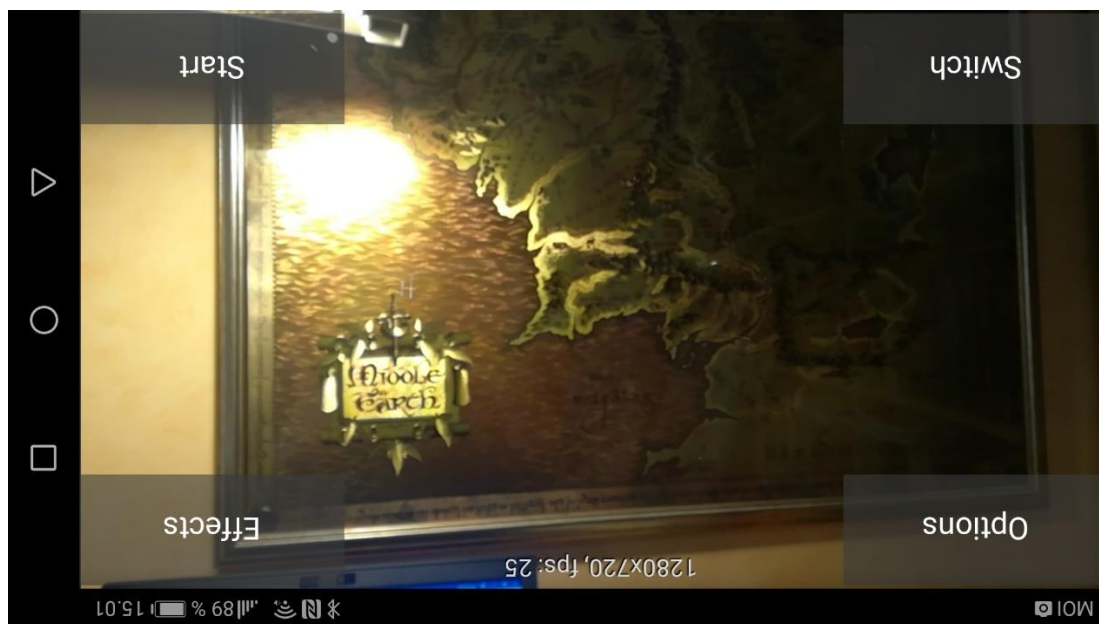
5 TULOKSET JA POHDINTA

5.1 Tulokset

Työn tavoitteenasettelu oli selkeä: Tehtävänä oli toteuttaa lääkintähenkilökunnan näkymän striimaaminen AR-laseista LiveSync-sovellukselle 5G-testiverkon kautta huhtikuussa 2019 Levillä järjestettävässä 6G Wireless Summitissa esitettävään 5G future hospital use case demoona.

Voidaan todeta, että tavoitteet saavutettiin. Työssä saatiin välitettyä AR-lasien näkymä striiminä LiveSync-sovellukselle FullHD tarkkuudella 24 ruudun sekuntinopeudella. Lisäksi striimin vaatima multimediaserveritoiminnallisuus saatiin tehtyä, jotta lasista lähetettävä RTMP-striimi voitiin muuttaa HLS-muotoon.

Yksi käytettävyyttä heikentävä seikka AR-laseihin kuitenkin jäi. Koska Vuzix M300 AR lasit jostain syystä käsittelevät näytön orientaatiota toisin kuin muut Android-laitteet RTMP Camera -sovelluksen käyttöliittymää ei saatu samansuuntaiseksi lasien oman käyttöliittymän kanssa. Kun AR-laseissa on näyttö vaakasuunnassa ja kameran kuva vaakasuunnassa, niin RTMP Camera sovelluksen käyttöliittymä on ylösalaisin. Tämä johtunee siitä, että sovellus itse kääntää käyttöliittymänsä niin, että se olettaa näytön alaosan olevan oikealla kun Vuzix asettaa sen vasemmalle. Käyttöliittymä kuten se näkyy Vuzix M300 lasissa striimausta aloitettaessa (kun kameran kuva on oikein päin näkyvissä) kuvassa 11. Ruutukaappaus matkapuhelimen näytöltä, koska lasista ei saa ruutukaappauksia.



Kuva 11: Orientaatio-ongelma Vuzixin lasissa

On helppo ymmärtää, että käyttö kun UI (User Interface) on ylösalaisin, on ensin hankalaa ja hidasta. Muutaman käyttökerran jälkeen tilanteeseen kuitenkin tottuu ja käyttö helpottuu. On huomattava, että tämä ongelma on näkyvissä ainoastaan lasien käyttäjälle. Striimiä katseleva ei siitä ole tietoinen.

Multimediaserverin toiminnallisuusvaatimus oli, että samaa striimiä voitiin vastaanottaa usealla tietokoneella samaan aikaan. Tämä vaatimus testattiin ja todettiin toimivaksi.

Ennen demoa järjestettiin erillinen testauspäivä CWC-tutkimusyksikön ja Nokian henkilökunnan toimesta noin kuukautta ennen varsinaista demoa Levillä. Striimaustoiminnallisuuden oli valmistuttava ennen testauspäivää, jotta testaaminen olisi mahdollista. Striimaus saatiin toimimaan aikataulun mukaisesti ja testipäivä voitiin järjestää. Myös Levin demo järjestettiin onnistuneesti.

Virrankulutusta ei työssä mitattu, mutta osana testausta voitiin Vuzix M300 AR-lasien akun todeta riittävän noin tunnin mittaiseen yhtäjaksoiseen striimaukseen. Tämä oli riittävän pitkä aika demon kannalta.

Nginx-multimediaserverin kuormitusta seurattiin Windowsin tehtävähallinta-ohjelman avulla. Nginx:n toimiessa sen kuormitus pysyi muutamassa prosentissa. Koska kuorma oli suhteellisen pieni ja kuormittavuus kussakin tietokoneessa vaihtelisi sen kokoonpanon mukaan, voitiin varsinainen kuormitus jättää tarkemmin mittaamatta. Todettiin, että Nginx ei kuormituksen kautta aiheuta riskiä demolle. Testattaessa Nginx toimi Fujitsu Lifebook E743 kannettavassa tietokoneessa, jossa oli Intel Core i7-3632QM prosessori, 8GB RAM-muistia ja Windows 10 käyttöjärjestelmä.

5.2 Pohdinta

Vaikka työn tavoitteet saavutettiin, olisi mahdollisesti parempi lopputulos saatu, jos aikaa olisi ollut käytössä enemmän. Tällöin valmiin Android-sovelluksen sijaan olisi voitu kehittää oma sovellus, joka striimaa kuvaa AR-laseista suoraan LiveSync-sovellukselle HLS-muodossa. Tällöin kuitenkin kandidaatintyön laajuus 8 opintopistettä olisi suurella todennäköisyydellä ylittynyt huomattavasti. Nyt aikataulu oli Levillä järjestetyssä konferenssissa esitetyn demon mukainen, ja se asetti työlle aikataulupaineen. Samankaltainen tilanne, jossa aikataulu asettaa koviakin paineita projektien toteuttamiseen, on kuitenkin hyvin usein teollisuudessa arkipäivää. Täten voi olla hyvä, että työtä tehtiin tiukan aikataulun mukaan, koska se heijastelee normaalia tilannetta työelämässä.

Työn tiukka aikataulupaine vaikutti myös siihen, kuinka työ dokumentoitiin. Tätä dokumenttia ei sellaisenaan ehditty testaamisen ohessa kirjoittamaan, vaan työstä kirjoitettiin muistiinpanoja, joita voitiin käyttää apuna varsinaisen dokumentin kirjoittamisessa. Tämä dokumentti kirjoitettiin vasta luvuvuoden 2018-2019 neljännellä periodilla, kun varsinainen työ aloitettiin 2 periodilla ja sitä tehtiin intensiivisesti 3. periodilla. Jos testaus ja dokumentointi olisi ollut mahdollista tehdä samaan aikaan, olisi työ voinut tulla tarkemmin dokumentoiduksi. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska 3. periodi oli tämän työn tekijälle koko opintovuoden kuormittavin ja kaikki saatavilla oleva aika oli käytettävä työn tekemiseen, ei dokumentointiin, jotta aikataulu saatiin pidettyä.

Työn vaatima testaaminen tehtiin pääosin työn tekijän kotona. On huomioitava, että testausjärjestelyt vaativat lähiverkon ja useita erillisiä tietokoneita. Nämä kaikki työn tekijältä löytyivät ja kyseiset laitteet myös voitiin luovuttaa tähän käyttöön usean viikon ajaksi. Testaamisessa käytetty lähiverkko on toteutettu sekä WLAN että LAN-tekniikoilla. Tämä osoittautui tarpeelliseksi, sillä usean FullHD-laatuksen striimin lähettäminen samassa WLAN-verkossa eri suuntiin samanaikaisesti aiheutti huomattavan kuorman langattomaan verkkoon ja aiheutti yhteyksiin katkoksia ja laadun huonotumista. Ratkaisuksi kaikki tietokoneet siirrettiin LAN-verkkoon ja vain AR-lasit toimivat langattomassa WLAN-verkossa. Tämä ratkaisi WLAN-verkon kuormitusongelman. Samaa ratkaisua suositeltiin myös Levin demon.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä toteutettiin videota ja ääntä sisältävän RTMP-muotoisen striimin lähettäminen AR-laseista langattoman WLAN-yhteyden kautta multimediaserverille. Multimediaserverillä RTMP-muotoinen striimi muunnettiin HLS-muotoon ja lähetettiin edelleen usealle vastaanottajalle samanaikaisesti. AR-laseina käytettiin Vuzixin M300-mallia. Multimediaserverinä toimi Nginx. Työ osaltaan mahdollisti Levin 6G Wireless Summitiin tehdyn demon lääketieteen käyttötapauksesta jossa lääkintähenkilökunnan näkemä tilanne striimattiin 5G-testiverkon kautta toiseen tilaan, jossa operaatiota/tilannetta voitiin seurata.

Testauksessa käytettiin kolmea eri vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa haluttiin varmistua striimaussovellusten toiminnallisuudesta ja sovellus asennettiin matkapuhelimeen, jolla lähetettiin striimiä WLAN-verkon kautta lähiverkossa olevalle tietokoneelle, jossa se vastaanotettiin VLC-multimediasoittimella. Toisessa vaiheessa toteutettiin multimediaserverin toiminnallisuus tavoitteiden mukaisella tavalla ja rakennettiin järjestely, jossa tietokoneelta lähetettiin RTMP-muotoista striimiä lähiverkon kautta Nginx-multimediaserverille, jossa se muutettiin HLS-muotoon ja lähetettiin usealle vastaanottavalle tietokoneelle toistettavaksi samaan aikaan. Kolmannessa testausjärjestelyssä ensimmäinen ja toinen vaihe yhdistettiin niin, että ensimmäisessä vaiheessa valittu sovellus asennettiin AR-laseihin. AR-laseja ja tätä sovellusta käyttäen lähetettiin RTMP-muotoista striimiä vaiheen kaksi mukaisesti WLAN-yhteyden kautta Nginx-multimediaserverille, jolla se muunnettiin HLS-muotoon ja lähetettiin usealle tietokoneelle toistettavaksi.

Työn tavoitteet saavutettiin, vaikka demon aiheuttamien aikataulupaineiden vuoksi ratkaisu ei ehkä voinut olla optimaalinen, vaan oli tyydyttävä riittävän hyvään toiminnallisuuteen. Kompromissit liittyivät lähinnä AR-laseihin ja niiden puutteellisiin toimintoihin. Nginx-multimediaserverin toiminnallisuus vastasi erittäin hyvin tavoitteenasettelua.

7 LÄHDELUETTELO

- [1] 5G Test Network verkkosivut (luettu 10.6.2019), <https://5gtn.fi/>
- [2] 6G Wireless Summit verkkosivut (luettu 10.6.2019), <http://www.6gsummit.com/>
- [3] Vuzix M300 Smart Glasses Brochure 4.19 (2018), Vuzix Corporation, West Henrietta, New York, 2 s.
- [4] Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/HTTP_Live_Streaming License terms: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>
- [5] Hardeep Singh Parmar & Michael C. Thornburgh (2012), Real-Time Messaging Protocol (RTMP) specification (Version 1.0), Adobe Systems Incorporated, <https://www.adobe.com/devnet/rtmp.html>, 52 s.
- [6] Roger Pantos & William May Jr. (2017), Apple Inc., IETF RFC 8216, HTTP Live Streaming, Informational, <https://tools.ietf.org/html/rfc8216>, 60 s.
- [7] GitHub Nginx-verkkosivu (luettu 11.6.2019) : <https://github.com/nginx/nginx>
- [8] Verkkosivut Nginx:n lataamiseen (luettu 11.6.2019): <http://nginx-win.ecsds.eu/download/>
- [9] OBS (Open Broadcaster Software) Forums (luettu 1.6.2019) Question: OBS studio rtmp to hls with NGINX or FFmpeg. URL: <https://obsproject.com/forum/threads/obs-studio-rtmp-to-hls-with-nginx-or-ffmpeg.61513/>

8 LIITELUETTELO

Liite 1 Nginx-multimediaserverin konfiguraatiodosto nginx.conf

Liite 1 Nginx-multimediaserverin konfiguraatiotiedosto nginx.conf

```
# *****
# important notes for OBS studio on RTMP
# OBSstudio url
# rtmp://localhost:1935/live

# OBSstudio StreamKey
# test

# HTTP access
# http://localhost:8080/live/test/index.m3u8
# http://localhost:8080/    Welcome Nginx
# *****

# Folders
# C:\nginx\nginx.exe
# C:\nginx\hls\live
# C:\nginx\hls\mobile
# C:\nginx\dash
# C:\nginx\html
# C:\nginx\conf
# C:\nginx\temp
# C:\nginx\logs
# C:\nginx\stats
# C:\nginx\videos
# *****

worker_processes 1;
error_log logs/error.log debug;
events {
worker_connections 1024;
}
rtmp {
server {
listen 2727;
allow play all;

#creates our "live" full-resolution HLS videostream from our incoming encoder stream and tells where to put the HLS video
manifest and video fragments
application live {
allow play all;
live on;
record all;
record_path /videos;
record_unique on;
hls on;
hls_nested on;
hls_path C:/nginx/HLS/live;
```

```

hls_fragment 8s;
hls_fragment_naming timestamp;

}
}
}

http {
include    mime.types;
default_type  application/octet-stream;

server {
listen 8080;
server_name 192.168.0.105;

#creates the http-location for our full-resolution (desktop) HLS stream - "http://localhost:8080/live/test/index.m3u8"
location /live {
types {
application/vnd.apple.mpegurl m3u8;
}
alias HLS/live;
add_header Cache-Control no-cache;
}

#allows us to host some webpages which can show our videos: "http://localhost:8080/index.html"
location / {
root  c:/nginx/html;
index index.html index.htm;
}
}

```